ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LAS ARENAS IN BASIN PARA FRACTURA HIDRÁULICA DE VACA MUERTA

Carlos Macellari[1]

1: Tecpetrol (Andes Energy Consulting). carlosmacellari@andesenergyconsulting.com

Palabras clave: arenas, fracking, Rio Negro, Formación Bajo de La Carpa, Vaca Muerta

ABSTRACT

Between 100 and 190 unconventional wells are drilled per year in the Neuquén Basin targeting the Vaca Muerta Formation. Between 7000 and 13000 tons of sand are used per well, representing 15-20% of the total cost of the well. The sand has been traditionally mined in the Entre Ríos and Chubut provinces, located far away from the basin, thus generating an added cost in transport and logistics. However, in the last years, fracture-quality sands have been found in the nearby Rio Negro Province, representing a major savings in the transport cost.
The accumulations are in Holocene alluvial/colluvial and eolian sediments deposited in the endorreic basin of the Bajo de Menucos/Salitral de Santa Rosa. The sands are well sorted suarkoses, have roundness and sphericity above 0.6 in the Krumbein scale, and contain up to 12% of plagioclase/feldspar. These sands have lower resistance to crushing than those from Entre Ríos, but it is estimated that their properties are good enough for hydraulic fracturing.
It is postulated that these sands are derived from the erosion of the Santonian quartz-rich fluvial sandstones of the Bajo de la Carpa Fm., which were derived from the acidic volcanics and granites of the Nordpatagonian Massif located to the south. This unit was eroded during the formation of a Pleistocene pediment and these sediments were later reworked again during the Holocene resulting in the deposition of fracture-quality sands. Given the large areal extension of these sands, it is estimated that the available volume is more than enough to supply the development needs of the Neuquén Basin.

INTRODUCCIÓN

Actualmente se perforan entre 100 y 190 pozos no convencionales por año con objetivo a la Fm. Vaca Muerta en la Cuenca Neuquina. Cada pozo utiliza entre 7.000 y 13.000 toneladas de arena, lo que representa aproximadamente un 15 al 20% del costo total del pozo. Este material proviene tradicionalmente de las provincias de Entre Ríos y Chubut, con el consiguiente costo en transporte y logística (Fig. 1). Sin embargo, en los últimos años se descubrieron arenas de calidad de fractura en la Provincia de Rio Negro, a pocos kilómetros de las zonas de desarrollo, con lo que se lograría una importante disminución en el costo de transporte (Fig. 1). Si bien

su calidad es algo inferior a las arenas que se vienen explotando en otras partes del país, estas serian equivalentes a las *brown sands* de Texas que se están actualmente utilizando en la Cuenca Pérmica (Davis, 2019).

La explotación de estas arenas ya ha comenzado con cuatro desarrollos avanzados, y plantas de lavado y selección ya instaladas al igual que con la solicitud de mas de 500 permisos de cateo (Terzaghi, 2020, 2021). Esto representaría un importante ahorro en la logística si se compara con la arena que viene de Entre Ríos a 1300 km de distancia, o la de Chubut, a 900 km (Fig. 1).

Las arenas premium o *white sands* se definen como arenas de ocurrencia natural, que pueden ser utilizadas durante el fracturamiento hidráulico de pozos no convencionales como agente de sostén de las fracturas originadas durante el fracturamiento. Estos materiales poseen una alta proporción de cuarzo (95 a 99%) y son areniscas maduras, retrabajadas. La arena debe tener una baja solubilidad en ácido (menos de un 3% de perdida de peso después de la prueba), un buen grado de selección, los granos deben ser redondeados y esféricos (valores ≥ 0.6 de la escala de Krumbein) y deben tener una alta resistencia a la compresión (crushing). Otros aspectos de importancia son la baja turbidez (indicando la baja presencia de

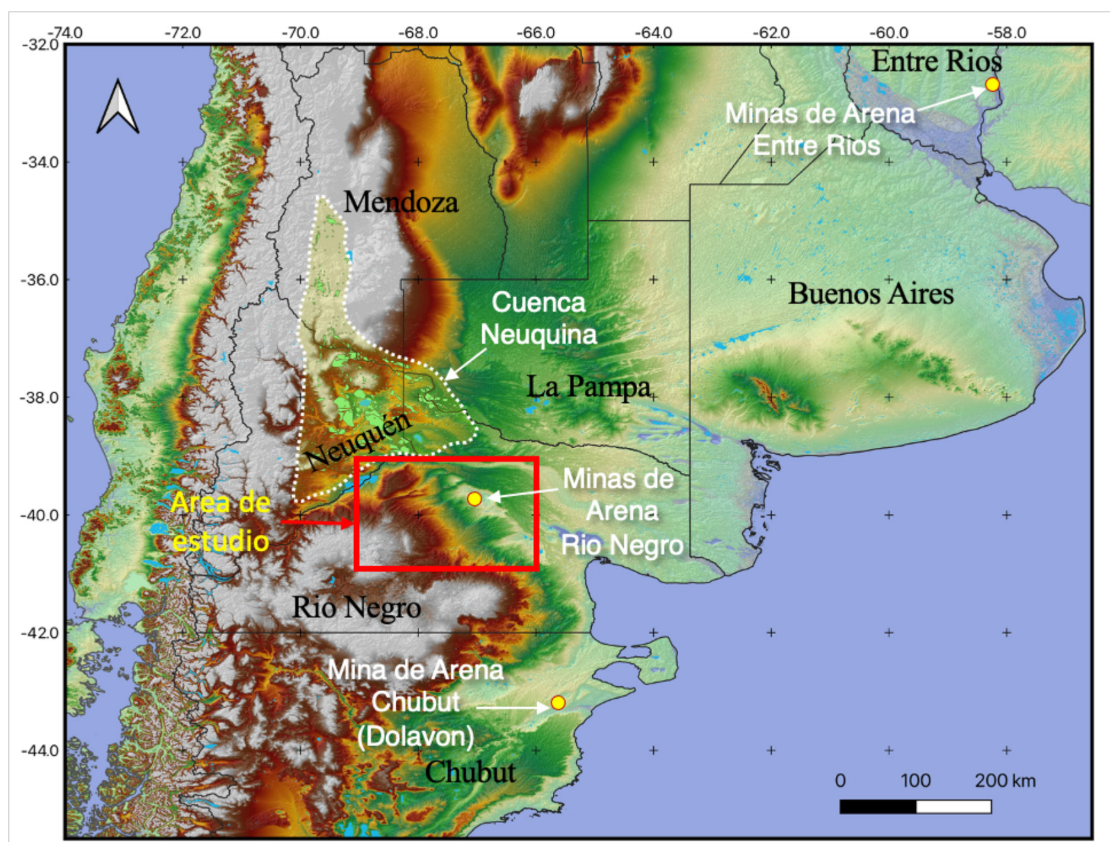


Figura 1. Ubicación del área de estudio y de las principales áreas de extracción de arena para fracking en la Argentina.

material fino), la ausencia de sobrecrecimientos y fracturas en los granos. Las características específicas de las arenas para fracking están definidas en el estándar API RP 19C/ISO 13503-2 (American Petroleum Institute, 2008) (Benson y Wilson, 2015). En general estas arenas maduras a supermaduras han sido altamente trabajadas y seleccionadas, de forma tal que los minerales que son menos resistentes (tanto químicamente como mecánicamente) han sido disueltos o transportados (Pettijohn *et al*., 1972). Del punto de vista geológico, las mejores arenas para fracking son arenitas cuarzosas depositadas discordantemente sobre una superficie transgresiva en un mar de baja profundidad con una larga historia de procesos marinos y eólicos y en una zona de baja subsidencia. Frecuentemente se encuentran en el interior de un cratón lejos de un margen de placa activo (Benson y Wilson, 2015, Sloss, 1988, Dott *et al*., 1986, Runkel *et al*., 2007, Zdunczyk, 2007). Dada su ubicación predominante en zonas cratónicas, frecuentemente las arenas de alta calidad o *white sands* se encuentran lejos de las zonas de explotación de hidrocarburos, lo que incrementa el costo de transporte a su lugar de utilización. Para disminuir estos costos, en los últimos años se están utilizando arenas mas próximas a las explotaciones (o *in basin*). Estas arenas (conocidas como brown sands) generalmente tienen menor contenido de sílice al igual que una conductividad y resistencia al *crushing* menores (Davis, 2019), pero de suficiente calidad como para ser utilizadas.

A los fines de establecer la presencia de yacimientos de arena que puedan tener la calidad adecuada para *fracking* en las proximidades de la Cuenca Neuquina, se adelanto un estudio regional para identificar las zonas con sedimentos que puedan tener un alto contenido en cuarzo. Para efectuar este análisis se compilo la información publicada en las cartas geológicas 1:250,000 por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) cubriendo la cuenca Neuquina al igual que el Macizo Nordpatagónico. Estas se volcaron en QGIS, junto con topografía y redes de drenaje. El objetivo fue identificar fuentes de cuarzo, normalmente asociadas a rocas plutónicas acidas (granitos) y eventualmente a rocas volcánicas ácidas. Dentro del área analizada estas rocas se encuentran en el Macizo Nordpatagónico, al sur de la cuenca, predominantemente en la Provincia de Río Negro. Así se descartaron numerosos mantos arenosos al norte de la Cuenca y al este de la misma, ya que tienen una composición predominantemente volcánica. A los fines de comprobar estos afloramientos y coleccionar muestras para su análisis, se hicieron dos visitas de campo, coleccionando muestras que posteriormente fueron analizadas en laboratorio. El objetivo de este trabajo es presentar las características generales y distribución de las arenas de calidad para *fracking* del área de estudio, por lo que la descripción de sus propiedades geomecánicas especificas (que varían dentro del área, y de acuerdo al tratamiento de las mismas) no se incluye.

GEOLOGÍA REGIONAL

El área de interés se encuentra en el norte de la Provincia de Río Negro representando la porción mas austral de la Cuenca Neuquina (Figs. 1,2,3). Aquí sedimentos Cretácicos del Grupo Neuquén se disponen discordantemente sobre rocas mas antiguas que conforman el Macizo Nordpatagónico. Las rocas aflorantes en la región incluyen granitos Proterozoicos a Pérmicos (Complejo Yaminue, Fm. Punta Sierra, Complejo Plutónico Navarrete) y rocas metamórficas Proterozoicas a Paleozoicas. Este complejo es sucedido por pórfidos riolíticos y riodacíticos, ignimbritas y tobas riolíticas del Complejo Volcánico Marifil, de edad Jurásica Media (Caminos *et al.*, 2001). Todas estas rocas conforman el Macizo Nordpatagónico, y el basamento de la porción sur de la Cuenca Neuquina. Discordantemente sobre el complejo plutónico volcánico del Macizo Nordpatagónico, se depositan las sedimentitas continentales del Grupo Neuquén, compuestas por areniscas, conglomerados, pelitas, areniscas tufíticas y tobas de edad Cretácica Superior. En términos generales, la porción inferior es arenosa y conglomerádica y es de origen fluvial, mientras que la porción superior es de origen lacustre (Caminos *et al.*, 2001, Hugo y Leanza, 2001 a,b, Cazau y Uliana, 1973, Garrido, 2010, 2011, Uliana y Dellapé, 1981). Encima

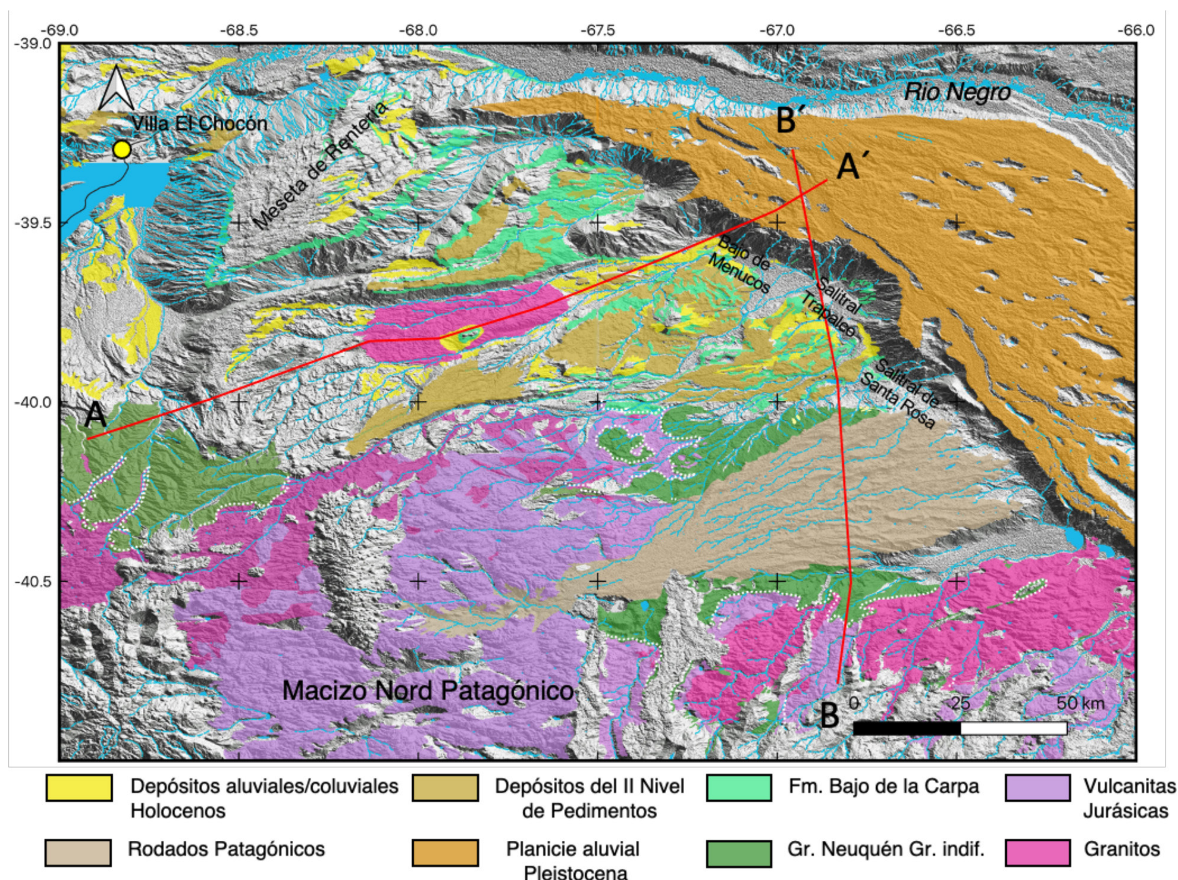


Figura 2. Mapa Geológico simplificado. Modificado de Caminos, *et al.*,2001, Cucchi *et al.*, 2001 y Hugo y Leanza 2001 (a,b).

del grupo Neuquén y separado por una discordancia se depositó el Grupo Malargüe, de origen continental y marino de procedencia Atlántica. Estas rocas están sucedidas discordantemente por estratos continentales y marinos Cenozoicos y finalmente por lavas olivínicas Pliocenas (Basalto del Cuy), que forman altos topográficos prominentes (Caminos, *et al.*, 2001, Cucchi *et al.*, 2001, Hugo y Leanza, 2001 a,b). Durante el Pleistoceno se origina un gran pedimento regional buzando hacia el este, cubierto por depósitos fluviales y de remoción en masa. Durante el Holoceno, este pedimento regional es disectado, y depósitos aluviales y coluviales al igual que eólicos se depositan en la cuenca endorreica o bajos encadenados, que incluyen los bajos de Menucos, y salitrales de Trapalcó, y Santa Rosa (Fig. 2).

A los fines de entender el origen y distribución de las arenas motivo del presente estudio, hay tres unidades de interés: la Formación Bajo de la Carpa, los Depósitos del II Pedimento y las Arenas Aluviales-Coluviales Holocenas (Figs. 2,3) que se describen mas abajo.

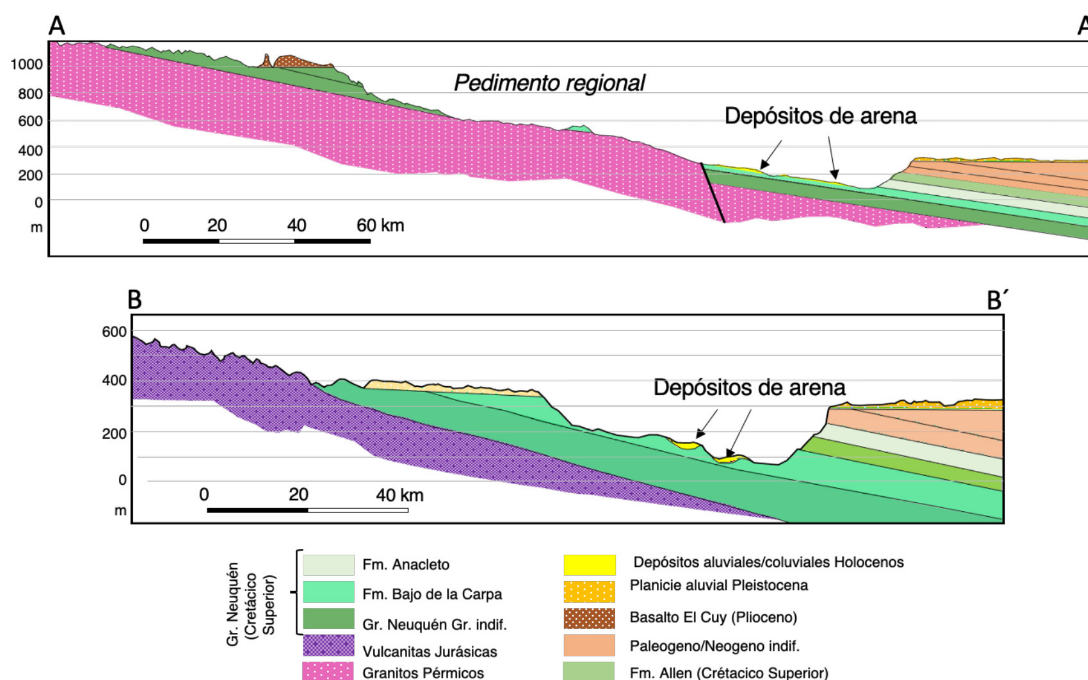


Figura 3. Perfiles geológicos mostrando los depósitos de arena a nivel regional. Ubicación en la Figura 2.

FORMACIÓN BAJO DE LA CARPA

La Formación Bajo de la Carpa forma parte del subgrupo Río Colorado dentro del Grupo Neuquén y aflora extensamente en los bajos en donde subyace a las arenas motivo del presente estudio (Hugo y Leanza, 2001 a, b) (Figs. 2,3,4,5,6,7). Esta formación, de edad Santoniana, se caracteriza por estar conformada por areniscas de color gris a rosado, de composición cuarzosa,

con grano medio a grueso con pobre selección y frecuentemente con estratificación entrecruzada en artesa. En la parte superior de la formación se observa la presencia de paleosuelos. En general estas rocas están bien cementadas (Fig. 4) (Hugo y Leanza, 2001 a,b,). El ambiente de



Figura 4. Afloramiento de la Fm. Bajo de la Carpa en el área de estudio.

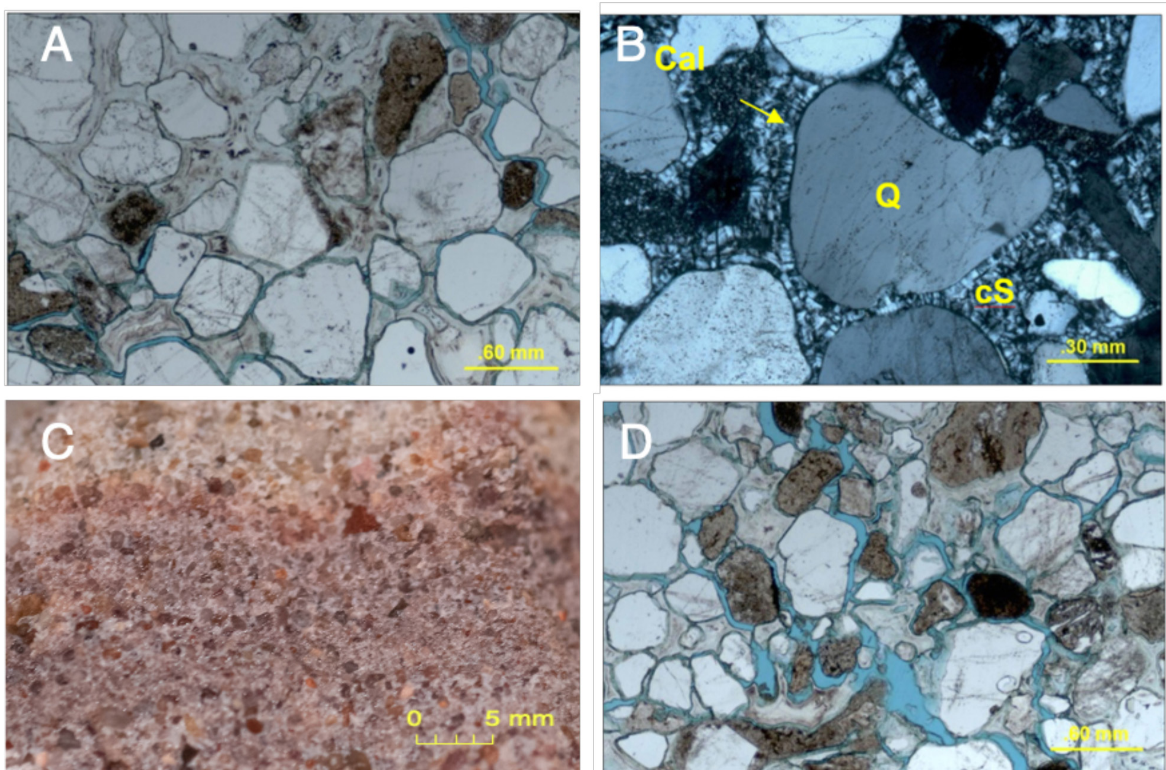


Figura 5. Fm. Bajo de la Carpa. A. Corte delgado, nicoles paralelos. Cemento silíceo. B. Nicoles cruzados, mostrando granos de cuarzo redondeados, y cemento silíceo (calcedonia). C. Muestra de mano. D. Corte delgado mostrando cuarzo (blanco) y fragmentos líticos (colores mas oscuros).

depositación es de origen fluvial con ríos anastomosados, que forman un sistema fluvial efímero transicional hacia arriba a un ambiente fluvio-eólico (Sánchez y Gómez, 2005, Sanchez *et al.*, 2006).

Tres muestras fueron analizadas por el laboratorio LCV en cortes delgados, indicando una arenita laminada con intercalaciones de arena gruesa a mediana con clastos redondeados a subredondeados, una selección pobre y una pátina ferruginosa (Fig. 5). El cuarzo varía de 62 a 52%, siendo predominantemente monocristalino. Los fragmentos líticos son mayormente volcaniclásticos incluyendo tobas vítreas y cristalinas, devitrificadas con texturas esferulíticas, tobas cristalinas al igual que rocas metamórficas (metacuarcitas) y fragmentos de rocas plutónicas y andesitas parcialmente disueltas. Los feldespatos varían del 4 al 8%, predominando las plagioclasas alteradas y feldespatos potásicos. Las rocas analizadas tienen un cemento silíceo (Fig. 5). Dentro del esquema de Dickinson *et al.* 1983, estas muestras pueden clasificarse como derivadas de un orógeno reciclado (Fig. 8). Su proveniencia del Macizo Nordpatagónico es clara dada la presencia de material metamórfico, plutónico y la abundancia de cuarzo.

Hacia el sur la Fm. Bajo de la Carpa esta remplazada por areniscas fangolitas, arcilitas y tufitas mas proximales que se incluyen en un Grupo Neuquén indiferenciado (Caminos *et al.*, 2001). Del punto de vista estratigráfico, la Fm. Bajo de la Carpa en la zona de estudio se depositó sobre la Formacion Portezuelo/Plottier, compuesta por conglomerados, areniscas y fangolitas del Turoniano superior (Hugo y Leanza, 2001a, Cazau y Uliana, 1973). Esta formación se adelgaza hacia el sur, y si bien el contacto no esta expuesto, aparentemente descansa directamente sobre granitos Pérmicos.

DEPÓSITOS DEL SEGUNDO NIVEL DE PEDIMENTOS

Estos depósitos que cubren el II Nivel de Pedimentos buzan suavemente hacia el E-NE terminando en los bajos Menucos, Trapalcó y Santa Rosa (Hugo y Leanza, 2001b) (Figs. 6,7). Estos sedimentos están compuestos por conglomerados, gravas y arenas subconsolidadas con espesores que no superan los 10 m. En la zona de interés, se originaron por la denudación de las rocas de la Fm. Bajo de la Carpa, sobre la que se apoyan discordantemente. La edad de estos sedimentos se adjudica al Pleistoceno inferior (Hugo y Leanza, 2001b).

ARENAS HOLOCENAS

Distribución

En el área de estudio, los depósitos de arenas silíceas se encuentran en las partes más distales (NE) del pedimento erosionado sobre el macizo Nordpatagónico, en la cuenca endorreica que drena hacia los bajos de Menucos, Salitral Trapalco, y Salitral de Santa Rosa (Figs. 2,3,6,7),

dentro de la Provincia de Río Negro. Estos sedimentos de edad Holocena, son de dos tipos. Los que tienen mayor distribución son depósitos aluviales/coluviales depositados sobre la Fm. Bajo de la Carpa o sobre el II Nivel de Pedimentos y muy posiblemente derivado de ambos.

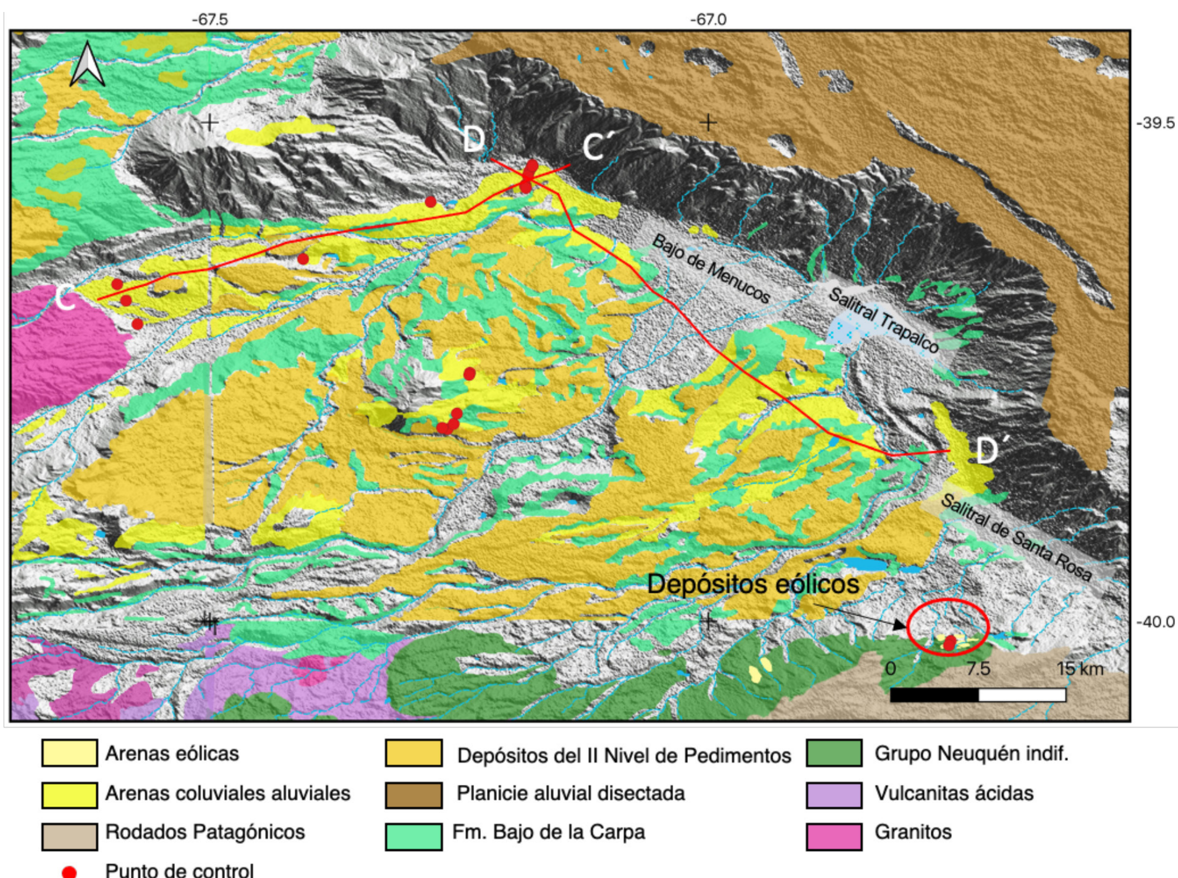


Figura 6. Mapa geológico simplificado mostrando la distribución de depósitos de arena. Modificado de Caminos, *et al.*, 2001, Cucchi *et al.*, 2001 y Hugo y Leanza 2001 (a,b).

El segundo tipo de depósitos, ubicados en la porción mas distal y ya en cercanía de los bajos, incluye sedimentos de tipo eólico formando dunas (Fig. 6) de edad Holocena (Hugo y Leanza, 2001, a,b). Estas acumulaciones están mas restringidas espacialmente que las anteriores.

Depósitos Aluviales/Coluviales

Estos depósitos se encuentran rellenando áreas deprimidas, o se desarrollan al pie de laderas y han sido transportados por cursos de agua permanentes o semi-permanentes (aluvios) (Figs. 6,7). Están compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas dispuestos en ciclos granodecrecientes de aproximadamente 1 a 1.5 m con materiales más gruesos en la base, y ocasionalmente paleosuelos hacia el techo (Figs. 9, 10, 11, 12).

Las arenas en general tienen estratificación entrecruzada en artesa, están bien seleccionadas y tienen un alto contenido de granos de cuarzo bien redondeados (Fig. 13). Actualmente están siendo explotadas por las compañías NRG, Aluvional y Transporte Rada Tilly.

Del material coleccionado, tres muestras fueron analizadas, mostrando un contenido de cuarzo de 79 a 87%, 7 a 8% de feldespato potásico y 5 a 7% de plagioclasa, lo que las clasifica como subarcosas (Fig. 14). El porcentaje de arcilla varia del 1 al 3%, estando compuesta por esmectita e illita en proporciones variables (Fig. 14). Los granos tienen redondez y esfericidad ≥ 6, con lo que califican en este criterio para agente de sostén (Fig. 13). En cuanto a la granulometría de las muestras analizadas, poseen una distribución bimodal, con la moda principal en arenas medias (malla #50) y otra menor en arenas finas (malla #100) de acuerdo con la escala de Udden-Wentworth (Fig. 15). Por la ausencia de líticos estas arenas se pueden interpretar como derivadas de un cratón interior, siguiendo el esquema de Dickinson *et al.*, 1983 (Fig. 8). Esto es consistente con una proveniencia de estas arenas del Macizo Nordpatagónico.

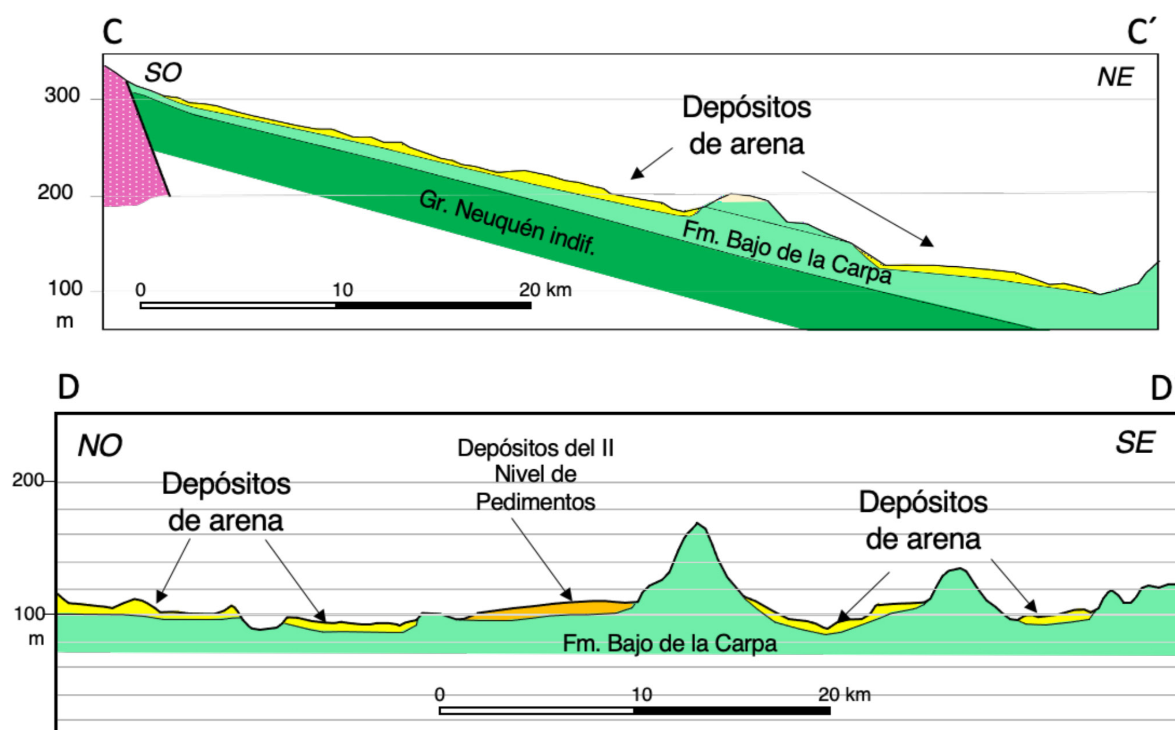


Figura 7. Cortes geológicos mostrando ubicación de los depósitos de arena. Ver ubicación en la Fig. 6.

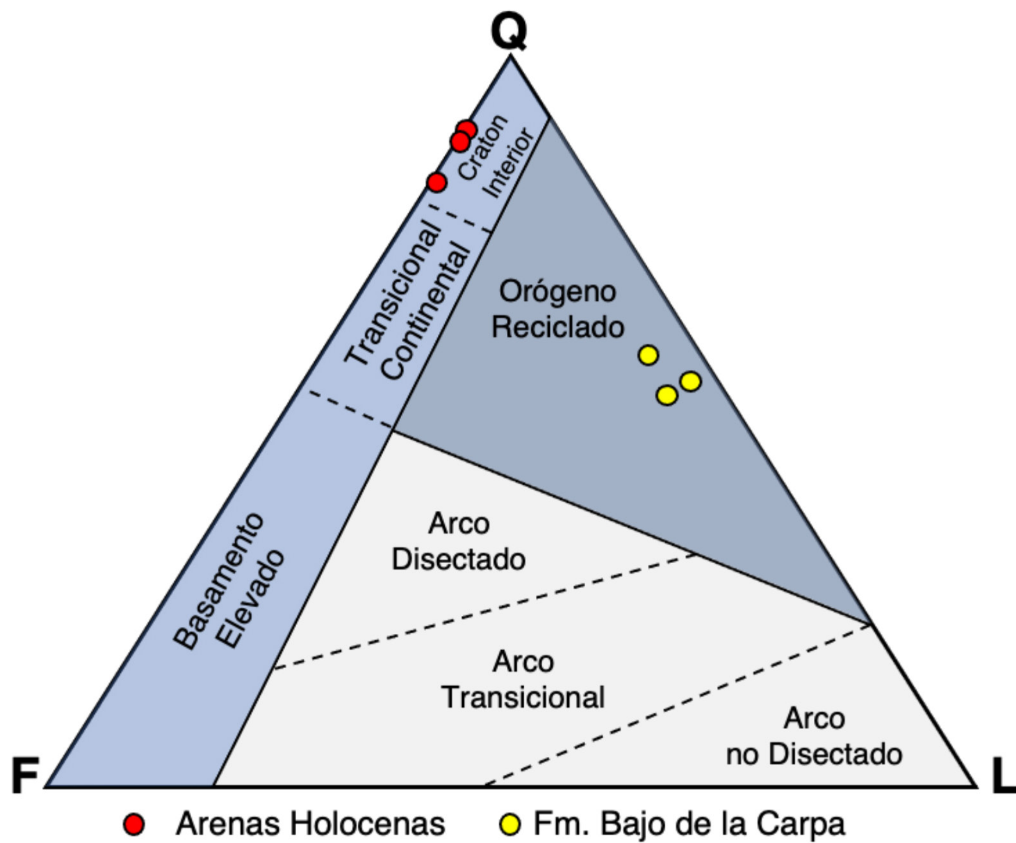


Figura 8. Muestras de arena/arenisca graficadas en el diagrama de Dickinson *et al.*, 1983.



Figura 9. Paisaje general de los depósitos aluviales/coluviales de arena en la zona de los Bajos.

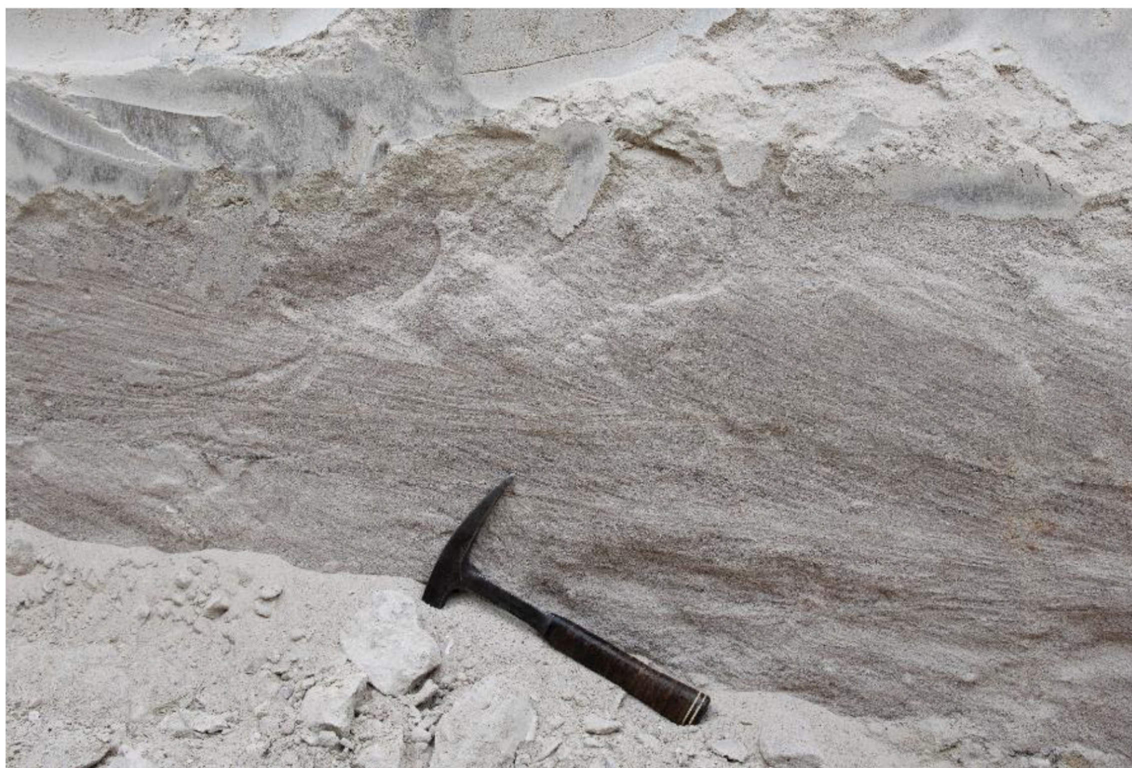


Figura 10. Arenas friables con estratificación entrecruzada en artesa.

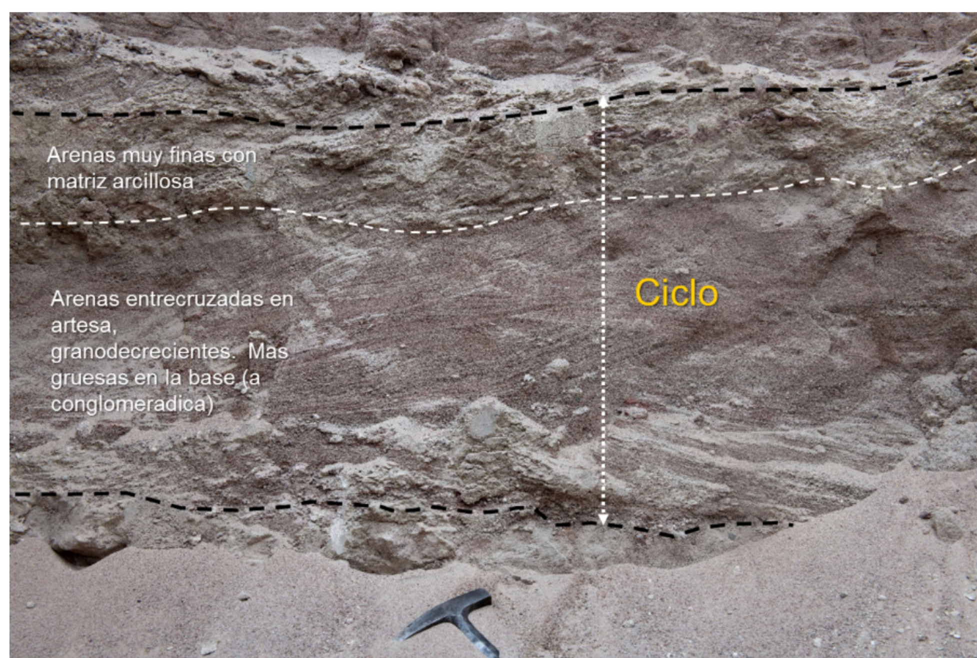


Figura 11. Típico ciclo sedimentario de los depósitos aluviales, mostrando arenas entrecruzadas en la base y arenas más finas con matriz arcillosa hacia el techo.

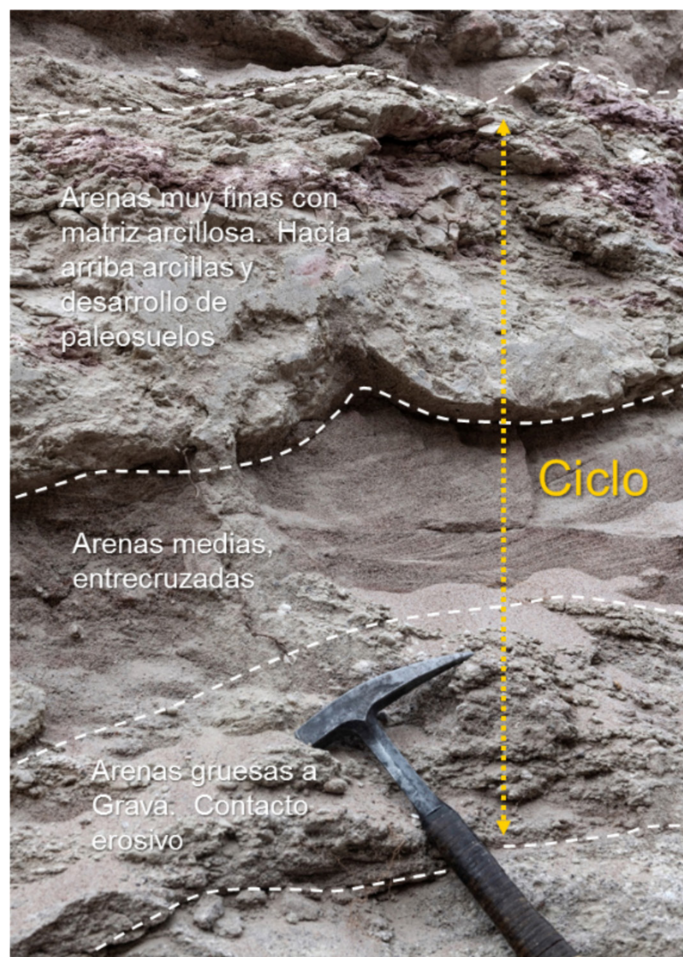


Figura 12. Típico ciclo sedimentario de los depósitos aluviales, mostrando arenas entrecruzadas en la base y arenas más finas con matriz arcillosa hacia el techo.



Figura 13. Arenas de depósitos aluviales/coluviales lavadas. 40X.

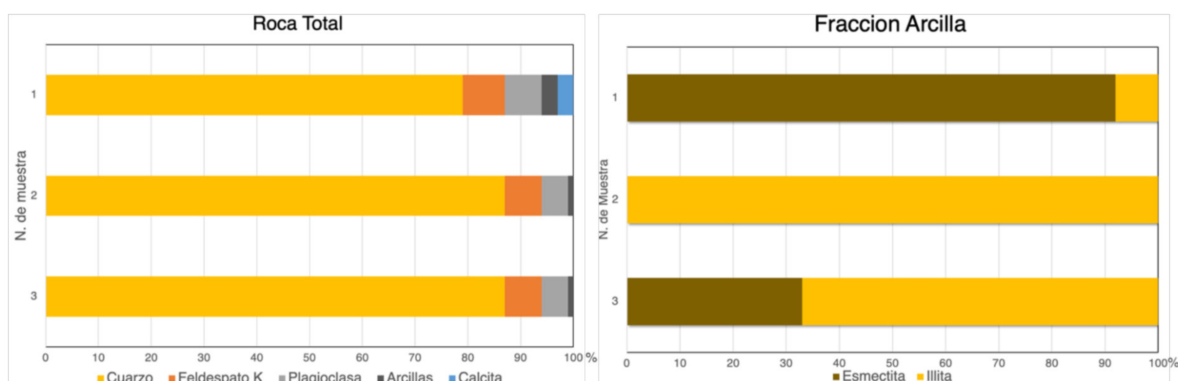


Figura 14. Composición mineralógica de las muestras estudiadas.

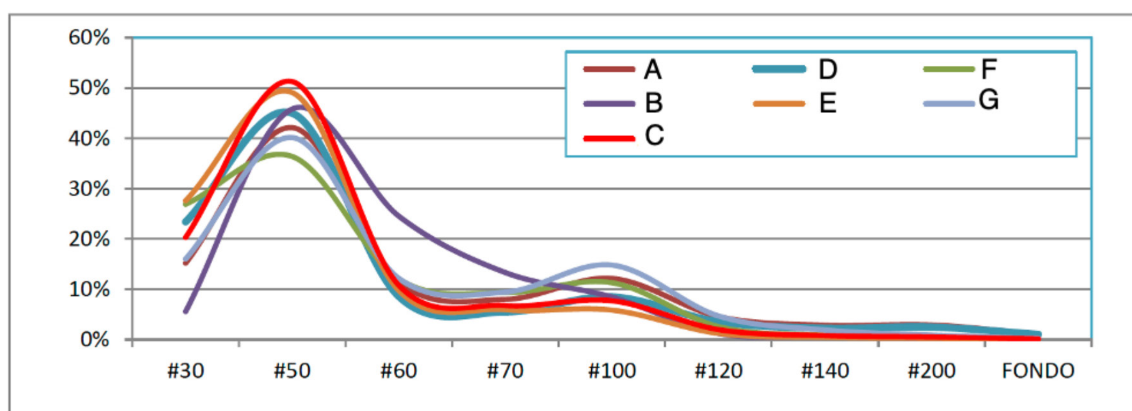


Figura 15. Distribución granulométrica de las arenas aluviales/coluviales.

Depósitos Eólicos

Estas arenas se encuentran distribuidas en la parte suroriental de los bajos. Forman dunas de origen eólico que están bien definidas topográficamente (Figs. 6, 16, 17). Posiblemente estas dunas se originaron en las partes del bajo en donde los vientos predominantes del oeste se desaceleran al encontrarse con las barrancas que forman el borde de los bajos, depositando arenas erosionadas tanto del macizo Nordpatagónico como del área de pedimento. Estas arenas son finas, y están bien seleccionadas, formando potentes acumulaciones. Actualmente están siendo explotadas por la compañía Cimsa Inversiones Mineras.



Figura 16. Mina de arenas de origen eólico.



Figura 17. Depósitos eólicos. Notar las dunas en la topografía.

MODELO DE DEPOSITACIÓN DE LAS ARENAS

La presencia de arenas ricas en cuarzo es una anomalía dentro del área andina, ya que la mayoría de los depósitos son ricos en materiales líticos (predominantemente volcaniclásticos). En el caso de los depósitos de arena ubicados en los bajos encadenados del norte de la Provincia de Río Negro, su presencia se debe a una historia muy particular. El material de cuarzo proviene

de la erosión del Macizo Norpatagónico. Sin embargo, la propuesta que se hace en este trabajo es que este material fue retrabajado por dos o tres eventos sucesivos que resultaron en un enriquecimiento relativo de cuarzo.

En primera instancia, durante el Cretácico Superior (Santoniano), se deposita la Formación Bajo de la Carpa, de ambiente fluvial con ríos anastomosados. Estas son rocas poseen un alto contenido en cuarzo, pero también un importante contenido de material lítico (Figs. 5,8). La distribución paleogeográfica de esta formación en el sur de la Cuenca Neuquina se muestra en la Figura 18. Hacia el sur, la Fm. Bajo de la Carpa es reemplazada por un conjunto de conglomerados, areniscas y lodolitas que se incluyen en el Grupo Neuquén en forma indiferenciada y que se apoyan directamente sobre el basamento (Fig. 18).

En una segunda etapa, durante el Plioceno, se desarrolló un nivel de pedimento regional y sobre el se depositan rocas que proceden de la denudación de los afloramientos existentes (Fig. 19). En el área de interés, la composición de estos sedimentos esta constituida predominantemente por fragmentos de la Formación.

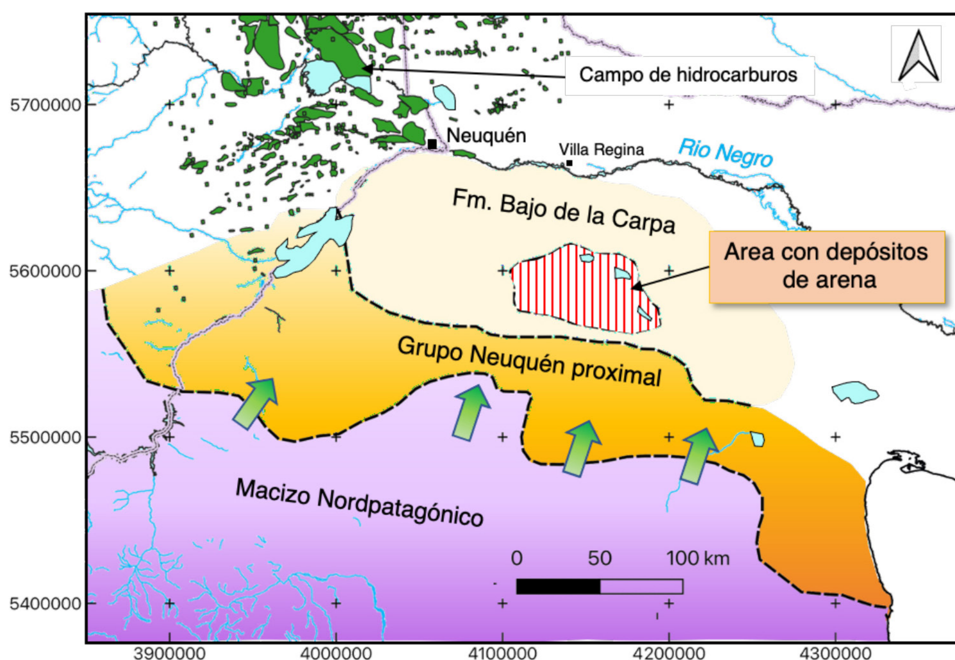


Figura 18. Esquema paleogeográfico al momento de depositación de la Fm. Bajo de la Carpa, indicando proveniencia de las arenas de la erosión del Macizo Nordpatagónico.

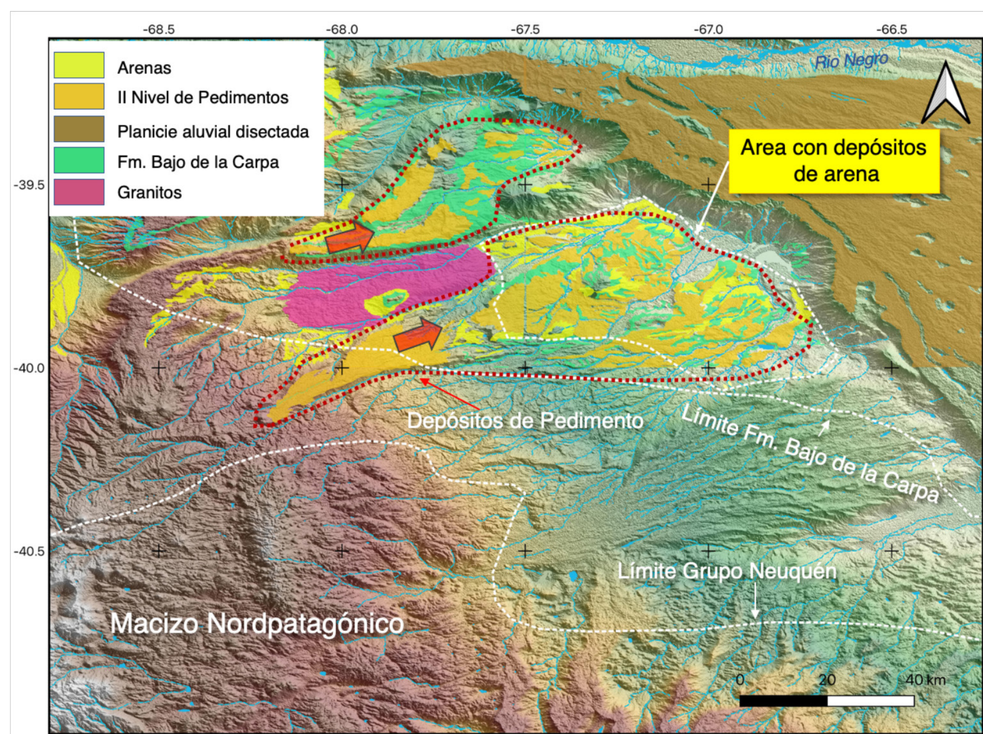


Figura 19. Distribución del área con arenas y su relación con la Fm. Bajo de la Carpa y los Depósitos del II Nivel de Pedimentos.

Bajo de la Carpa. Aquí se produce un primer retrabajado de estas arenisas, y posiblemente como consecuencia de este se pierden parte de los fragmentos líticos originales, ya que son mas susceptibles a ser lixiviados (Fig. 19).

En una tercera etapa, durante el Holoceno, los depósitos del II Pedimento son retrabajados por corrientes efímeras, resultando en un tercer retrabajado de las arenas y por consiguiente una mayor concentración de los componentes mas resistentes (cuarzo) (Figs. 8,19) particularmente hacia la parte inferior de los bajos ya que es allí en donde han sufrido el mayor transporte y selección.

CONCLUSIONES

La presencia de arenas de calidad de *fracking* cerca del área de explotación de los yacimientos no-convencionales de Vaca Muerta en la Cuenca Neuquina, va a permitir mejorar los costos al igual que simplificar la logística en el abastecimiento de material apuntalante. Si bien estas arenas no tienen la misma calidad (contenido en cuarzo o resistencia al *crushing*) que las de otras áreas de la Argentina, se estima que sus características son suficientes para ser utilizadas solas o en combinación con otras arenas en el proceso de *fracking* de la Fm. Vaca Muerta.

Estas arenas Holocenas se depositaron por procesos aluviales/coluviales y por procesos eólicos en una cuenca endorreica que drena hacia los bajos encadenados de Menucos, Trapalcó y Santa Rosa, y son el producto de la erosión de las areniscas Cretácicas de la Fm. Bajo de la Carpa. Los depósitos de arena se extienden por una amplia zona que abarca aproximadamente 140 km^2 en el caso de las arenas aluviales/coluviales y unos 12 km^2 en el caso de las arenas eólicas. Si bien la calidad de estas seguramente varia arealmente, dada su gran extensión se estima que la disponibilidad de las mismas es mas que suficiente para cubrir los requisitos de producción de la Cuenca Neuquina.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Tecpetrol por la posibilidad de publicar este trabajo. Igualmente, agradezco a Federico Sorenson, Paolo Alliata y Lucas Murphy por numerosas discusiones sobre el tema y participación en los trabajos de campo.

REFERENCIAS CITADAS

American Petroleum Institute, American National Standards Institute, e International Organization for Standardization, 2008. Measurement of properties of proppants used in hydraulic fracturing and gravel-packing operations, ISO13503; Petroleum and natural industries–Completion fluids and materials, (1a. ed.): Washington, DC, API Publishing Services, 30 p.

Benson, M.E. y Wilson, A. B., 2015. Frac Sand in the Unites States-A Geological and Industry Overview. Unites States Geological Survey. Open-File Report 2015-1107, 78 pp.

Caminos, R., C.J. Chernicoff, L. Fauqu y Franchi, M., 2001. Hoja Geológica 4166-I, Valcheta. Provincia de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 310, 73 p. Buenos Aires

Cazau, L.B. y Uliana, M.A.,1973. El Cretácico superior continental de la Cuenca Neuquina. V° Congreso Geológico Argentino. Actas 3: 131-163.

Cucchi, R., Busteros, A., y Lema, H., 2001. Hoja Geológica 4169-II, Los Menucos, Provincia de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, Boletín 265, 67 pp.

Davis, C., 2019. Permian In-Basin Fracture Sand on Pace to Surpass Northern White. Natural Gas Intelligence. https://www.naturalgasintel.com/permian-in-basin-fracture-sand-on-pace-to-surpass-northern-white/

Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brankenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F, Knepp, R.A., Lindberg, F.A., y Ryberg, P.T., 1983. Provenance of North Americas Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. Bulletin of the Geological Society of America 94, pp. 222-235

Dott, R.H., Jr., Byers, C.W., Fielder, G.W., Stenzel, S.R., y Winfree, K.E., 1986. Aeolian to marine transition in Cambro-Ordovician cratonic sheet

sandstones of the northern Mississippi valley, U.S.A.: Sedimentology, v. 33, p. 345-367.

Garrido, A.C., 2010. Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, n.s. 12 (2), 121–177.

Garrido, A.C., 2011. El Grupo Neuquén (Cretácico Tardío) en la Cuenca Neuquina. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén. 231:244

Hugo, C.A. y Leanza, H.A., 2001a. Hoja Geológica 3969-IV, General Roca, Provincias de Río Negro y Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, Boletín 308, 65 pp.

Hugo, C.A. y Leanza, H.A., 2001b. Hoja Geológica 3966-III, Villa Regina., Provincia de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, Boletín 309, 53 pp.

Pettijohn, F.J., Potter, P.E., y Siever, R., 1972, Sand and Sandstone: New York, Springer Verlag, 87 p.

Runkel, A.C. Miller, J.F., McKay, R.M., Palmer, A.R., y Taylor, J.F., 2007, High resolution sequence stratigraphy of lower Paleozoic sheet sandstones in central North America: The role of special conditions of cratonic interiors in development of stratal architecture: Geological Society of America Bulletin, v. 119, p. 860–881.

Sánchez, M.L. y Gómez, M. J., 2005. Análisis Estratigráfico del Subgrupo Rio Colorado en el sector este del Departamento Confluencia (Neuquén, Argentina). 6º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas: 21 p., Mar del Plata

Sánchez, M.L., Gómez, M.J. y Heredia, S., 2006. Sedimentología y paleoambientes del Subgrupo Río Colorado (Cretácico Superior), Grupo Neuquén, en las bardas de la ciudad de Neuquén y alrededores. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 61 (2): 236-255.

Sloss, L.L., 1988, Tectonic evolution of the craton in Phanerozoic time, en: Sloss, L.L., ed., Sedimentary cover, North American Craton, The geology of North America, v. D-2: Boulder, Colorado, Geological Society of America, p. 25–52.

Terzaghi, V., 2020. Entro en producción la planta de arenas para fracking de Rio Negro. Energíaon. https://www.rionegro.com.ar/entro-en-produccion-la-planta-de-arenas-para-fracking-de-rio-negro-2020649/

Terzaghi, V., 2021. Fiebre de la arena para Vaca Muerta: hay 500 pedidos de canteras en Río Negro. Energíaon.https://www.rionegro.com.ar/fiebre-de-la-arena-para-vaca-muerta-hay-500-pedidos-de-canteras-en-rio-negro-1919441/

Uliana, M.A. y Dellapé, D.A. 1981. Estratigrafía y evolución paleoambiental de la sucesión maestrichtiano-eoterciaria del Engolfamiento Neuquino (Patagonia septentrional). 8 Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 673-711, San Luis.

Zdunczyk, Mark, 2007, The facts of frac: Industrial Minerals Journal, no. 1, p. 58– 61.